

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09005797 A**(43) Date of publication of application: **10.01.97**

(51) Int. Cl

G02F 1/295(21) Application number: **07176939**(71) Applicant: **FUJI XEROX CO LTD**(22) Date of filing: **21.06.95**(72) Inventor: **NASHIMOTO KEIICHI**(54) **OPTICAL DEFLECTING ELEMENT**

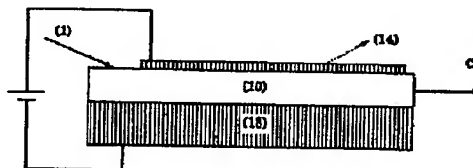
from the end face.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)1997,JPO

PURPOSE: To expand the polarization angle of a laser beam and to decrease driving voltage by forming an optical waveguide by a epitaxial ferroelectric thin film formed on a conductive single crystal substrate, thereby this substrate acts as a lower electrode.

CONSTITUTION: The thin-film optical waveguide 10 consisting of epitaxial PLZT is grown on the (100) face of the conductive single crystal substrate 13 of SrTiO_3 doped with Nb of resistivity of about 5 to $500\text{m}\Omega\cdot\text{cm}$ and triangular electrode arrays 14 formed of transparent conductive oxide thin films of ITO are formed on the waveguide 10. The laser beam 1 is confined into the PLZT thin film optical waveguide 10 when the laser beam of a laser diode of a wavelength of 780nm and output of 20mW is collimated and is introduced into the waveguide 10. The laser beam is deflected by the voltage impressed between the electrodes consisting of the triangular electrode arrays 14 consisting of the thin films of the ITO and the SrTiO_3 single crystal substrate 13 doped with Nb. The deflected laser beam is emitted as an exit laser beam 2



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-5797

(43) 公開日 平成9年(1997)1月10日

(51) Int.Cl.⁶
G 0 2 F 1/295

識別記号 庁内整理番号

F I
G 0 2 F 1/295

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 F D (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平7-176939

(22) 出願日 平成7年(1995)6月21日

(71) 出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72) 発明者 梨本 恵一

神奈川県南足柄市竹松1600番地 富士ゼロックス株式会社内

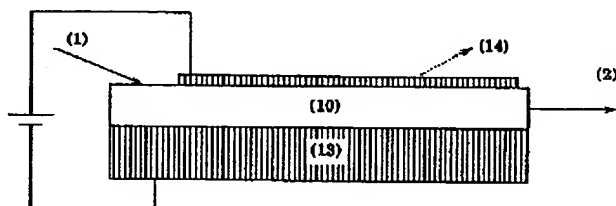
(74) 代理人 弁理士 渡部 剛 (外1名)

(54) 【発明の名称】 光偏向素子

(57) 【要約】

【目的】 電気光学効果を利用した高速変調可能な光導波路型の光偏向素子において、低い駆動電圧で偏向角度を拡大させることにより、レーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等のオプト・エレクトロニクス全般に利用可能な光偏向素子を提供する。

【構成】 光導波路と光源を有し、光導波路上に導電性又は半導電性の上部電極及び光導波路下に上部電極に対向する下部電極が設置され、その両電極間に電圧を印加することにより異なる屈折率を有する領域を発生させて光ビームを電圧に応じて偏向させる光偏向素子であって、該光導波路は、導電性又は半導電性の単結晶基板上に作製されたエピタキシャル又は配向性の強誘電体薄膜、或いは導電性又は半導電性のエピタキシャル又は配向性の薄膜を表面に有する単結晶基板上に作製されたエピタキシャル又は配向性の強誘電体薄膜により形成されており、該導電性又は半導電性の単結晶基板は光導波路下に設置された下部電極として作用する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気光学効果を有する光導波路と、この光導波路内に光ビームを入射させる光源とその入射手段を有し、光導波路上には導電性または半導電性の上部電極及び光導波路下には上部電極に対向する下部電極が設置され、上部電極と下部電極との間に電圧を印加することにより異なる屈折率を有する領域を発生させて光ビームを電圧に応じて偏向させる光偏向素子において、該光導波路は、導電性または半導電性の単結晶基板上に作製されたエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜、あるいは導電性または半導電性のエピタキシャルまたは配向性の薄膜を表面に有する単結晶基板上に作製されたエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜により形成されてなり、該導電性または半導電性の単結晶基板は、光導波路下に設置された下部電極として作用することを特徴とする光偏向素子。

【請求項2】 光導波路が、互いに平行でない二辺を持つプリズム形状の分極ドメイン反転領域を有し、電極間に電圧を印加することによりプリズム形状の分極ドメイン反転領域とそれ以外の領域において異なる屈折率を発生させることを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【請求項3】 上部電極が、互いに平行でない二辺を持つプリズム形状パターンを有し、電極間に電圧を印加することにより電極パターンに対応する異なる屈折率を有する領域を発生させることを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【請求項4】 上部電極が、光導波路よりも小さい屈折率を有する酸化物であることを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【請求項5】 光導波路と上部電極との間に、光導波路よりも小さい屈折率を有するクラッド層を有することを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【請求項6】 導電性または半導電性の単結晶基板、あるいは導電性または半導電性のエピタキシャルまたは配向性の薄膜は、光導波路よりも小さい屈折率を有する酸化物であることを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【請求項7】 光源が、単数のレーザー・ビームを発振するレーザー、あるいは複数のレーザー・ビームを発振する単一の基板上に形成されたレーザー・アレイであることを特徴とする請求項1記載の光偏向素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光導波路中の光ビームを電気光学効果によって偏向するための電極が備えられ、レーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に利用される光偏向素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】レーザー・ビーム・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に用いられているレーザー・

2

ビーム光走査装置は、気体レーザーや半導体レーザーからのビームを偏向するポリゴンミラーと呼ばれる回転多面鏡と、その回転多面鏡により反射されたレーザー・ビームを感光体などの結像面上において等速度直線運動の状態に集光させる $f \cdot \theta$ レンズとにより構成されたものが代表的なものとして使用されている。このようなポリゴンミラーを用いる光走査装置は、ポリゴンミラーをモーターによって高速回転させるために、耐久性に劣るとともに騒音が発生するという問題を有し、また光走査速度がモーターの回転数によって制限されるという問題がある。

【0003】一方、固体型のレーザー・ビーム光偏向装置としては、音響光学効果を利用した光偏向素子があり、なかでも光導波路型素子が期待されている(C. S. Tsai, IEEE Trans. Circuits and Syst. vol. CAS-26 (1979) 1072等)。この光導波路素子は、ポリゴンミラーを用いたレーザー・ビーム光走査装置の欠点を解決するレーザー・ビーム光走査素子として、プリンター等への応用が検討されている[野崎他, 信学技報, OQE 85-177 (1986) 43および羽鳥他, 信学技報, OQE 88-139 (1989) 9等]。このような光導波路型の光偏向素子は、特開昭52-68307号公報及び特公昭63-64765号公報等に示されるように、 LiNbO_3 や ZnO 等よりなる光導波路と、この光導波路内にレーザー・ビームをカップリング(入射)させる手段を有し、さらにその光導波路中の光ビームを音響光学効果により偏向するための表面弾性波を励起する櫛形の電極と偏向された光ビームを光導波路中より出射させる手段が備えられたものであり、その他に必要に応じて薄膜レンズ等が素子に付加されたものである。これらの光導波路型の光偏向素子は、無騒音であって信頼性に優れたものであり、かつ小型であるという利点を有している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、この種の光導波路型の光偏向素子は、音響光学効果による偏向において、一般に表面弾性波の励起をデジタル変調によって行うものであり、この変調方式ではレーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に使用できる実用的なレーザー・ビームの走査速度を得ることはできないという問題があった。一方、デジタル変調よりも高速なアナログ変調が知られているが、この変調方式においては、変調後のレーザー光は集光されてしまうことから、やはりレーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に利用する実用的なレーザー・ビームの形状は得られないという問題があった。また、このアナログ変調の場合には、用途によっては応答速度の違いが問題となる。

【0005】さらに、音響光学効果と比較して変調速度

10

20

30

40

50

の速い電気光学効果を有する材料を用いたプリズム型光偏向素子が知られている [A. Yariv, Optical Electronics, 4th ed. (New York, Rinehart and Winston, 1991) p. 336~339]。この種の素子としては、セラミックや単結晶を用いたバルク素子が知られているが、これらのバルク素子は、その大きさが大きく、また駆動電圧がかなり高いために実用的な偏向角度を得ることができないという問題があった。また、Ti拡散型光導波路やプロトン交換型光導波路を作製したLiNbO₃単結晶ウエハーを用いたプリズム型ドメイン反転光偏向素子またはプリズム型電極光偏向素子が知られている [Q. Chen, et al., J. Lightwave Tech. vol. 12 (1994) 1401, 特開昭62-47627号公報等]。しかしながら、これらの光偏向素子は、LiNbO₃単結晶ウエハーの厚さである0.5mm程度の電極間隔が必要となるために依然として駆動電圧が高く、上記した「J. Lightwave Tech.」第12巻第1401頁においては、駆動電圧を±600Vとしても、偏向角度は僅かに0.5度程度が得られているにすぎず、実用的な偏向角度は得られないという問題があった。

【0006】そこで、本発明は、従来の技術における上記した問題を解決するためになされたものである。したがって、本発明の目的は、電気光学効果を利用した高速変調可能な光導波路型の光偏向素子において、低い駆動電圧のもとで偏向角度を拡大させることにより、レーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に利用可能なレーザー光偏向素子及び光ディスク用のピックアップ、光通信や光コンピューター用の光スイッチ等を含むオプト・エレクトロニクス全般に利用可能な光偏向素子を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の光偏向素子は、電気光学効果を有する光導波路と、この光導波路内に光ビームを入射させる光源とその入射手段を有し、光導波路上には導電性または半導電性の上部電極及び光導波路下には上部電極に対向する下部電極が設置され、上部電極と下部電極との間に電圧を印加することにより異なる屈折率を有する領域を発生させて光ビームを電圧に応じて偏向させる光偏向素子において、該光導波路は、導電性または半導電性の単結晶基板上に作製されたエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜、あるいは導電性または半導電性のエピタキシャルまたは配向性の薄膜を表面に有する単結晶基板上に作製されたエピタキシャルまたは配向性の強誘電体薄膜により形成されてなり、該導電性または半導電性の単結晶基板は、光導波路下に設置された下部電極として作用することを特徴とする。

【0008】本発明においては、光導波路が、互いに平行でない二辺を持つプリズム形状の分極ドメイン反転領

域を有することにより、上部電極と下部電極との間に電圧を印加したときに、プリズム形状の分極ドメイン反転領域とそれ以外の領域において異なる屈折率を発生させる構成を採用することが望ましい。また、上部電極が、互いに平行でない二辺を持つプリズム形状パターンを有し、その電極間に電圧を印加することにより電極パターンに対応する異なる屈折率を持つ領域を発生させる構成を採用することも有効である。

【0009】本発明に用いる強誘電体薄膜としては、ABO₃型のペロブスカイト型酸化物では、正方晶、斜方晶または擬立方晶系として、例えば、BaTiO₃、PbTiO₃、Pb_{1-x}La_x(Zr_yTi_{1-y})_{1-x-y}O₃ (ただし、x及びyの値によりPZT、PLT又はPLZTとなる。)、Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃、KNbO₃等、六方晶系として、例えば、LiNbO₃、LiTaO₃等に代表される強誘電体、タングステンブロンズ型酸化物では、Sr_{1-x}Ba_{1-x}Nb₂O₆、Pb_{1-x}Ba_{1-x}Nb₂O₆等、またその他に、Bi₄Ti₃O₁₂、Pb₂KNb₅O₁₆、K₃Li₂Nb₅O₁₆、さらにこれらの置換誘導体等より適宜選ばれる。また、上部電極としては、Pt、Al等の金属電極及び上記光導波路よりも小さい屈折率を有するITO等の透明酸化物電極を用いることが可能である。さらに、光導波路と上部電極との間に、光導波路よりも小さい屈折率を有するクラッド層を設ける場合には、上部電極には任意の材料を用いることができるが、駆動電圧の増加を招かないITO等の透明酸化物電極を用いることが望ましい。

【0010】本発明において、導電性または半導電性の単結晶基板、あるいは導電性または半導電性のエピタキシャルまたは配向性の薄膜としては、光導波路よりも小さい屈折率を有するNbドープのSrTiO₃、AlドープのZnO、In₂O₃、RuO₂、BaPbO₃、SrRuO₃、YBa₂Cu₃O_{7-x}、SrVO₃、LaNiO₃、La_{0.6}Sr_{0.4}CoO₃等の酸化物が望ましいが、Pd、Pt、Al、Au、Ag等の金属等を用いることも有効である。これらの導電性または半導電性の単結晶基板、あるいは導電性または半導電性のエピタキシャルまたは配向性の薄膜は、強誘電体薄膜の結晶構造に応じて選ぶことが望ましい。また、上部電極または下部電極として用いる導電性または半導電性の薄膜または単結晶基板には、その抵抗率として10⁻⁶Ω・cm~10³3Ω・cm程度の範囲のものが有効であるが、電圧降下が無視できる程度の抵抗率のものであれば上部電極または下部電極として利用可能である。また、偏向速度または変調速度によっては、キャリア・モビリティが適当な上部電極材料または下部電極材料を選択することができる。

【0011】本発明に使用する強誘電体薄膜の製造方法としては、電子ビーム蒸着、フラッシュ蒸着、イオン・

プレーティング、Rf-マグネトロン・スパッタリング、イオン・ビーム・スパッタリング、レーザー・アブレーション、MBE、CVD、プラズマCVD、MOCVD等から選ばれる気相成長法及びゾルゲル法、MOD法等のウェット・プロセスにより作製された薄膜の固相成長法によって作製される。また、光源としては、単数のレーザー・ビームを発振するレーザー、あるいは複数のレーザー・ビームを発振する単一の基板上に形成されたレーザー・アレイが使用される。具体的には、He-Neなどの気体レーザーや、AlGaAs等の化合物半導体レーザーまたはこれらのレーザー・アレイ等を用いることができる。さらに、レーザーの発振によるレーザー光は、プリズム・カップリング、パット・カップリング（またはエンド・カップリング）、グレーティング・

$$n = c/c_1 = (\epsilon_r \mu_r)^{1/2}$$

[1] 式より明らかなように、これは電場方向において屈折率が増大し、電場と垂直方向においては屈折率が低下する電気光学効果につながる。この電気光学効果において、屈折率 n と電場 E との関係は、次の[2]式で与えられる。

$$n = n_0 + aE + bE^2 + cE^3 + \dots \quad [2]$$

そして、結晶構造が対称心を有する物質の場合には、

$$n = n_0 - aE + bE^2 - cE^3 + \dots \quad [3]$$

$$n = n_0 + aE + bE^2 + cE^3 + \dots \quad [4]$$

とが等しくならなければならない。したがって、

$$n = n_0 + bE^2 + \dots \quad [5]$$

となり、電場による屈折率変化は、次のように奇数項が消えてしまう。

$$\Delta n = n_0 - n = -bE^2 - \dots \quad [6]$$

この中で、二次の項がKerr効果と呼ばれ、一般に次のように示される。

$$\Delta n = -1/2 R n^3 E^2 \quad [7]$$

一方、結晶構造が対称心のない物質の場合には、奇数項が残ることになる。

$$\Delta n = n_0 - n = -aE - bE^2 - \dots \quad [8]$$

この中で、一次の項がPockels効果と呼ばれ、一般に次のように示される。

$$\Delta n = -1/2 r n^3 E \quad [9]$$

この効果は、対称心のない結晶構造を持つ物質、すなわち圧電体や強誘電体のみ見られるものである。実際には、電場を大きくしていくと、Kerr効果は、次第に

$$m\lambda = 2\Lambda \sin \theta,$$

ここで、 m は回折されたレーザーの次数、 λ はレーザーの波長、 Λ は屈折率の変化周期、 θ はブラッグ角である。この際、レーザー・ビームを偏向（走査）するためには、数多くの電極を配置し、偏向角に応じて屈折率の変化周期を変えるべくアドレッシングを行う必要がある。図1において、1は入射レーザー・ビーム、2は出

$$\theta \geq \theta_r = \sin^{-1} (n_1 / n_2)$$

式中、 θ_r は入射角（臨界角）、 n_1 は導波路材料の屈

カップリング、エバーネッセント・フィールド・カップリング等から選ばれる方法によって光導波路に導入される。薄膜レンズとしては、モード・インデックス・レンズ、ルネブルク・レンズ、ジオデシック・レンズ、フレネル・レンズ、グレーティング・レンズ等が適している。出射手段としては、プリズム・カップラー、グレーティング・カップラー、フォーカシング・カップラー、SAWグレーティング・カップラー等が適している。

[0012] 次に、電気光学効果の原理について説明する。一般に、ある材料に電場を加えると、電場方向に分極が生じ、電場方向の光速は小さくなる。真空中の光速を c 、屈折率が n であり、比誘電率が ϵ_r の媒体中の光速を c_1 とすると、次の[1]式で表される。

[1]

Pockels効果に重畳する形で屈折率の変化が起こる。

[0013] そこで、このような電気光学効果を利用する際には、対称心のない結晶構造を有するとともに、高い係数を有する強誘電体を用いることとなり、その代表的なものとしてはLiNbO₃及びPLZTである。またこの際、電気光学効果におけるI-E特性には、メモリー性のない材料を選択することが望ましい。このためにはP-Eヒステリシス・ループがスリムな特性を持ち、実用上I-E特性にメモリー性のない材料を選択する必要があるが、使用方法によってはこの限りではない。なお、電気光学効果に対する係数行列は3階のテンソルである。

[0014] PLZT薄膜のような強誘電体に局所電場を印加すると、上記のようにその領域の屈折率の低下が起こり、図1に示すブラッグ反射や図2に示す全反射によって、レーザー・ビームの方向を切り替えることができる。このEO（電気光学効果）変調の場合には、音響光学効果を利用した光偏向素子のようなフォノンの移動時間による制限を受けず分極によるために、スポット移動時間（スイッチング時間）はピコ秒オーダーと極めて速い。図1に示すように、楕形電極等に電場を印加することにより薄膜の屈折率を周期的に変化させると、入射するレーザー光は、次式[10]のブラッグ条件のもとでブラッグ反射を起こす。

[10]

射レーザー・ビーム、3は電場による屈折率変化によって生じたグレーティング領域である。

[0015] 図2に示すように、角度 θ の全反射は、次式[11]の全反射条件を満たす際に起こるものである。図2において、4は電場における屈折率変化領域である。

[11]

折率、 n_2 は屈折率の低下領域の屈折率であり、 $n_2 <$

n_1 でなければならない。屈折率の低下が Pockels 効果による際には、上述のとおり、 $\Delta n = -1/2 r$

$$\theta_r = \sin^{-1} (n_2 / n_1) = \sin^{-1} \{ (n_1 - \Delta n) / n_1 \} \\ = \sin^{-1} (1 - 1/2 r n^2 E)$$

となる。ここで、屈折率 $n_0 = 2.286$ (633 nm) の LiNbO_3 における Pockels 係数は、 $r_{33} = 30.8 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 程度である。これに 10

$$\theta_{\dots} = (90 - \theta_r) \times 2 = \{ 90 - \sin^{-1} (n_2 / n_1) \} \times 2 \\ = (90^\circ - 87.60^\circ) \times 2 = 2.40^\circ \times 2 = 4.80^\circ$$

しかし、全反射では、レーザー・ビームを偏向 (走査) するためにはレーザー・ビームに対する全反射面の角度を変化させなくてはならず、レーザー光を偏向 (走査) することは容易ではない。

【0016】さらに、図3に示すように、プリズム型光偏向素子が知られている。図3において、長さが l 、高

$$\tau_a = l / c,$$

であり、 c を真空中の光速とすると [1] 式より、

$$\tau_a = l / c_a = l / c \cdot n_a,$$

同様に、屈折率 n_b のプリズム (6) を通過する光 B の

$$\tau_b = l / c_b = l / c \cdot n_b$$

従って、光 A および b の通過時間の差は $n_a = n + \Delta n$

$$\Delta \tau = l / c \cdot (n_a - n_b) = l / c \cdot \Delta n \quad [15]$$

となる。この通過時間の差により、プリズムを出射前の

$$\Delta y = c_b \cdot \Delta \tau = c / n_b \cdot l / c \cdot \Delta n = l \Delta n / n \quad [16]$$

であり、これはプリズム内のビーム軸の屈折と等価で、

$$\theta_0 = \tan (\theta_0) = -\Delta y / D = -l \Delta n / (D n) \quad [17]$$

さらに、Snell 則によってプリズムから出射した際

$$n_{air} \cdot \sin \theta_0 = \sin \theta_0 = n \cdot \sin \theta_0 \quad [18]$$

であり、

$$\theta_0 = \sin^{-1} (n \cdot \sin \theta_0) - n \cdot \theta_0 = -n \cdot l \Delta n / (D n) \\ = -l \Delta n / D$$

【0017】ここで、二つのプリズムが反対向きの分極軸を持ち、電場が z 軸に平行方向に印加されるとする

$$n_a = n - 1/2 r n^3 E \quad [19]$$

$$n_b = n + 1/2 r n^3 E \quad [20]$$

であり、 $\Delta n = n_a - n_b$ より、

$$\Delta n = -r n^3 E \quad [21]$$

従って、印加電圧を V 、プリズムの厚さを d とすると、

$$\theta_0 = -l \Delta n / D = l / D \cdot r n^3 E \\ = l / D \cdot r n^3 (V / d) \quad [22]$$

となり、電場または電圧に比例してレーザー・ビームを偏向できる。図3のプリズム (a) の位置に、三角形の

$$n_a = n - 1/2 r n^3 E \quad [23]$$

$$n_b = n \quad [24]$$

であり、 $\Delta n = n_a - n_b$ より、

$$\Delta n = -1/2 r n^3 E \quad [25]$$

従って、印加電圧を V 、媒質の厚さを d とすると、次の

$$\theta_0 = -l \Delta n / D = l / D \cdot 1/2 r n^3 E \\ = l / (2D) \cdot r n^3 (V / d) \quad [26]$$

また、Kerr 効果による場合は [26] 式は、[9] 式により次の [27] のようになる。

$n^3 E$ となることから、[10] 式は、

0 kV/cm を印加すると、 2×10^{-3} の屈折率変化となり、レーザー光の最大の進行方向の変化 θ_{\dots} は、臨界角 θ_r において次のように得ることができる。

10 さが D の屈折率が異なる二つのプリズム (5) 及び (6) からなる媒質があるとする。ここに入射する光 A は、屈折率 n_a のプリズム (5) を通過し、その通過時間 τ_a は、プリズム (5) における光速を c_a とすると、

$$[12]$$

$$[13]$$

通過時間 τ_b は、

$$[14]$$

$> n_b = n$ とすると、

波面の位置の差は、

その角度は、

の角度は、

と、[9] 式の $\Delta n = -1/2 r n^3 E$ により、

電極が二つのプリズムの代わりに配置され、電場が z 軸に平行方向に印加されるとすると、

$$\theta_0 = -1 \Delta n / D = 1 / D \cdot 1 / 2 r n^3 E^2$$

$$= 1 / (2 D) \cdot r n^3 (V / d)^2 \quad [27]$$

【0018】従来、このような素子としては、セラミックスや単結晶を用いたバルク素子が知られているが、これらは大きさが大きく、また、駆動電圧がかなり高いために実用的な偏向角度を得ることができなかった。また、図4及び図5に示すような分極ドメイン反転領域(7)を有する光導波路(10)構造を持った、Ti拡散型の単結晶LiNbO₃からなる光導波路やプロトン交換型の単結晶LiNbO₃からなる光導波路による光変調素子が検討されている。しかし、上部電極(8)と下部電極(12)との間には、LiNbO₃単結晶基板(11)の厚さに匹敵する0.5mm程度の電極間隔が必要となるために、従来の素子では、依然として駆動電圧が高く、実用的な偏向角度を得ることはできない。

【0019】

【実施例】

実施例1

図6及び図7に示す光偏向素子において、抵抗率が5～500mΩ・cm程度のNbをドーブしたSrTiO₃の導電性単結晶基板(13)の(100)面上に、エピタキシャルPLZT(12/40/60)からなる薄膜光導波路(10)を成長させる。層の厚さd_r=600nm、ε_r=1300、r=120×10⁻¹² m/VのPLZT層はゾルゲル法を用いた固相エピタキシャル成長によって作製する。このPLZT層の作製は、まず、無水酢酸鉛Pb(CH₃COO)₂、ランタン・イソプロポキシドLa(O-i-C₃H₇)₃、ジルコニウム・イソプロポキシドZr(O-i-C₃H₇)₄、及びチタン・イソプロポキシドTi(O-i-C₃H₇)₄を出発原料とし、これらを2-メトキシエタノールに溶解し、6時間の蒸留を行った後、18時間の還流を行うことにより、最終的にPb濃度で0.6MのPLZT(12/40/60)用の前駆体溶液を得、その後、この前駆体溶液を基板上にスピンコーティングを行う。以上の工程はすべてN₂雰囲気中で行い、次に、加湿したO₂雰囲気中、10°C/secにて昇温して350°Cに保持した後、650°Cに保持し、最後に電気炉の電源を切るにより冷却する。これにより膜厚約100nmの第一層目のPZT薄膜を固相エピタキシャル成長した。これをさらに5回繰り返すことにより総膜厚600nmのエピタキシャルPLZT薄膜が得られる。これは、結晶学的関係としてはPLZT(100)/Nb-SrTiO₃(100)、面内方位PLZT[001]/Nb-SrTiO₃[001]の構造を有している。

【0020】次に、PLZT薄膜光導波路(10)上に、抵抗率が約1mΩ・cm、膜厚が約100nmのITO透明導電性酸化物薄膜による底辺3.3mm、高さ2.0mmの3つの三角形電極アレー(14)を作製す

る。光源としては、波長780nm、出力20mWのレーザー・ダイオードを用いてレーザー・ビーム幅2mmにコリメートした後、PLZT薄膜光導波路にグレーティング(15)を介して導入する。PLZT薄膜光導波路は、ITO透明導電性酸化物薄膜及びNbドーブSrTiO₃(100)単結晶基板よりも屈折率が高いために、レーザー・ビーム(1)はPLZT薄膜光導波路中に閉じ込められる。入射したレーザー・ビーム(1)は、ITO薄膜三角形電極アレー(14)及びNbドーブSrTiO₃単結晶基板(13)からなる電極の間に印加電圧することによって偏向される。この偏向されたレーザー・ビームは端面より出射レーザー・ビーム

(2)として出射され、F・θレンズ等の光学系を経て感光体の露光等に応用することができる。得られた光偏向素子は、[26]式において、n=2.50、r=120×10⁻¹² m/V、l=10mm、D=2mm、d=600nmとすることができる。図8に示すように、この光偏向素子に印加電圧12Vを印加すると、偏向角度θは5.4となり、印加電圧を-12Vから+12Vに掃引することにより、偏向角度10.8度を得ることが可能となり、実用的な印加電圧で実用的な偏向角度を実現させることができる。

【0021】比較例1

図5を用いて説明すると、MgO(100)単結晶基板(11)上に、エピタキシャルPLZT(12/40/60)薄膜光導波路(10)を成長させた。厚さd_r=600nm、ε_r=1300、r=120×10⁻¹² m/VのPLZT層は、ゾルゲル法を用いた固相エピタキシャル成長によって、実施例1と同様にして作製する。得られた薄膜光導波路の結晶学的関係としては、PLZT(100)/MgO(100)、面内方位PLZT[001]/MgO[001]の構造を有している。このPLZT薄膜光導波路上には、金属電極の光導波路における光伝搬の損失を抑制するために、約200nmの厚さのSiO₂クラッド層(9)を介して約100nmの厚さのAl薄膜からなる上部電極(8)を有する底辺3.3mm、高さ2.0mmの三角形の3つの電極アレーを作製する。この光源としては、波長780nm、出力20mWのレーザー・ダイオードを用いて、レーザー・ビーム幅D=2mmにコリメートした後、PLZT薄膜光導波路にグレーティングを介して導入する。入射したレーザー・ビームは、三角形電極アレーからなる上部電極(8)と下部電極(12)の間に電圧を加えることによって偏向される。この偏向された各光ビームは、端面より出射される。

【0022】得られた光偏向素子は、薄膜光導波路がクラッド層と絶縁性基板とによって挟まれてしまうために、薄膜光導波路には、上部電極と下部電極間に印加電

11

圧Vをそのまま与えることはできず、その部分電圧（実効電圧 V_e ）のみが与えられることになる。この素子の各層の厚さを、それぞれバッファ層 d_b 、光導波路層 d

$$V_e = V \cdot (\epsilon_b \epsilon_c / d_b d_c) / (\epsilon_b \epsilon_c / d_b d_c + \epsilon_b \epsilon_c / d_b d_c) \quad [27]$$

さらに、 $n=2.50$ 、 $r=120 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 、 $l=10 \text{ mm}$ 、 $D=2 \text{ mm}$ 、 $d_b=200 \text{ nm}$ 、 $\epsilon_b=4$ 、 $d_c=600 \text{ nm}$ 、 $\epsilon_c=1300$ 、 $d_e=500 \text{ }\mu\text{m}$ 、 $\epsilon_e=8$ となる。したがって、この光偏向素子は、比誘電率の比較的小さい MgO 基板を用いているにもかかわらず、印加電圧 12 V において光導波路にかかる実効電圧 V_e は、 $8.9 \times 10^{-5} \text{ V}$ が得られるにすぎない。その結果、偏向角度 θ は、僅かに 4.0×10^{-5} 度であり、印加電圧を -12 V から $+12 \text{ V}$ に掃引しても、偏向角度は僅か 8.0×10^{-5} 度であって、偏向角度及び印加電圧とも実用的なものではない。

【0023】実施例2

実施例1の偏向角を拡大させるために、分極ドメイン反転プリズム・アレーを形成させた。図9及び図10に示すように、 Nb ドーパ SrTiO_3 （100）の単結晶基板（13）上にエピタキシャル PLZT （12/40/60）薄膜光導波路（10）を成長させた。層の厚さ $d_c=600 \text{ nm}$ 、 $\epsilon_c=1300$ 、 $r=120 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ の PLZT 層は、ゾルゲル法を用いた固相エピタキシャル成長によって実施例1と同様に作製する。この PLZT 薄膜光導波路に25個の底辺 2 mm 、高さ 1.0 mm のプリズム形状の分極ドメイン反転領域（7）を形成した後、この PLZT 薄膜光導波路の上には層厚約 100 nm の ITO 透明導電性酸化物薄膜からなる上部電極（8）を作製する。この光源としては、波長 780 nm 、出力 20 mW のレーザー・ダイオードを用いてレーザー・ビーム幅 5 mm にコリメートした後、 PLZT 薄膜光導波路に入射用プリズム（16）を介して導入する。入射したレーザー・ビーム（1）は、 ITO 薄膜からなる上部電極（8）及び Nb ドーパ SrTiO_3 の単結晶電極（13）の間に印加電圧することによって偏向される。この偏向されたレーザー・ビームは、出射プリズム（17）を介して出射される。得られた光偏向素子は、式[22]において、 $n=2.50$ 、 $r=120 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 、 $l=10 \text{ mm}$ 、 $D=1 \text{ mm}$ 、 $d=600 \text{ nm}$ とすることができる。図13に示すように、印加電圧 12 V を与えると、偏向角度 θ は 21.5 を得ることができ、この印加電圧を -12 V から $+12 \text{ V}$ に掃引することにより、偏向角度は 43.0 度とすることが可能となり、実用的な印加電圧で実用的な偏向角度を実現させることができる。

【0024】実施例3

図11及び図12に示すように、絶縁性サファイア（001）の単結晶基板（11）上に、 Rf マグネトロン・スパッタリングによって抵抗率が約 $1 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ の（0

12

、クラッド層 d_c とし、また比誘電率を、それぞれ ϵ_b 、 ϵ_c 、 ϵ_e とすると、式（26）の印加電圧 V は、次のように、実効電圧 V_e となる。

[27]

01）高配向の Al をドーパした ZnO からなる導電性薄膜（20）を成長させ、さらに（001）高配向の LiNbO_3 からなる薄膜光導波路（10）を成長させた。この LiNbO_3 の薄膜光導波路（10）に、底辺 2 mm 、高さ 1.0 mm からなる25個のプリズム形状の分極ドメイン反転領域（7）を作製した後、この LiNbO_3 薄膜光導波路上には、膜厚約 100 nm で、抵抗率が約 $1 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ の ITO 透明導電性酸化物薄膜からなる上部電極（8）を作製する。この光源としては、波長 780 nm 、出力 20 mW のデュアル・スポット・レーザー・ダイオード・アレーを用いて、2本のレーザー・ビームを幅 2 mm にコリメートした後、 LiNbO_3 薄膜光導波路にグレーティング（15）を介して導入する。 LiNbO_3 からなる薄膜光導波路は、 ITO 透明導電性酸化物薄膜及び Al ドーパ ZnO 導電性薄膜よりも屈折率が高いために、レーザー・ビームは LiNbO_3 薄膜光導波路中に閉じ込められる。入射したレーザー・ビーム（1）は、 ITO 電極間と Al ドーパ ZnO 電極間に電圧を印加することにより、上記プリズム形状のドメイン反転領域とそれ以外の領域において異なる屈折率が発生し偏向される。この偏向された2本のレーザー・ビームは、出射用グレーティング（18）を介して出射される。得られた光偏向素子は、[22]式において、 $n=2.18$ 、 $r=30 \times 10^{-12} \text{ m/V}$ 、 $l=10 \text{ mm}$ 、 $D=1 \text{ mm}$ 、 $d=400 \text{ nm}$ とすることができる。図14に示すように、印加電圧 16 V を与えると、偏向角度 θ は 7.1 となり、印加電圧を -16 V から $+16 \text{ V}$ に掃引することにより、偏向角度 14.2 度を得ることが可能となり、実用的な印加電圧で実用的な偏向角度が実現できる。

【0025】実施例4

実施例1～3においては Pockels 効果を用いたのに対し、本実施例においては Kerr 効果を示す PLZT （8.5/65/35）を用いた。図15及び図16に示すように、抵抗率が $5 \sim 500 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}$ 程度の Nb をドーパした SrTiO_3 （100）導電性単結晶基板（13）上に、厚さ $d_c=500 \text{ nm}$ 、 $\epsilon_c=1300$ 、 $R=3860 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{V}^2$ のエピタキシャル PLZT （8.5/65/35）薄膜光導波路（10）を、実施例1と同様にゾルゲル法を用いた固相エピタキシャル成長によって作製する。これは、結晶学的関係としては PLZT （100）// Nb-SrTiO_3 （100）、面内方位 PLZT [001] // Nb-SrTiO_3 [100] の構造を有している。次に、この PLZT 薄膜光導波路（10）上に、抵抗率が約 $1 \text{ m}\Omega$

・cm、膜厚が約100nmのITO透明導電性酸化物薄膜による底辺1.0mm、高さ2.0mmの8個の三角形電極アレー(14)を作製する。光源としては、波長780nm、出力20mWのレーザー・ダイオードを用いてレーザー・ビーム幅8mmにコリメートした後、PLZT薄膜光導波路にグレーティング(15)を介して導入する。PLZT薄膜光導波路は、ITO透明導電性酸化物薄膜およびNbドープSrTiO₃(100)単結晶基板よりも屈折率が高いために、レーザー・ビーム(1)はPLZT薄膜光導波路中に閉じ込められる。入射したレーザー・ビーム(1)は、ITO薄膜三角形電極アレー(14)およびNbドープSrTiO₃単結晶電極(13)の間に印加電圧することによって偏向される。この偏向されたレーザー・ビームは端面より出射され(2)、F・θレンズ等の光学系を経て感光体の露光等に应用することができる。本実施例で得られた光偏向素子は、式(27)において、 $n=2.50$ 、 $R=3860 \times 10^{-18} \text{ m}^2/\text{V}^2$ 、 $l=2\text{mm}$ 、 $D=1\text{mm}$ 、 $d=500\text{nm}$ とすることができる。図17に示すように、印加電圧1.2Vを印加すると偏向角度 θ は20度となり、印加電圧を-1.2Vから+1.2Vに掃引することにより、角度40度にわたって偏向可能となり、実用的な印加電圧で実用的な偏向角度を実現させることができる。

【0026】

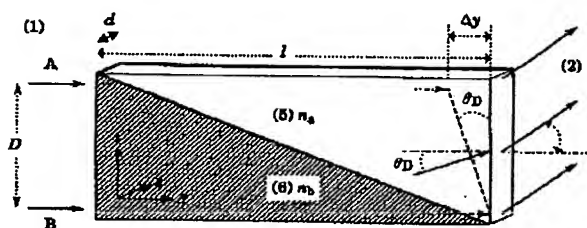
【発明の効果】本発明は、電気光学効果を利用した高速変調が可能な光導波路型の光偏向素子であって、レーザー・ビームの偏向角度を拡大させるとともに、駆動電圧または印加電圧の大幅な低減化を実現したものであるから、従来の可動部分を有する光偏向素子と比較して、小型化、低コスト化、高効率化、高速化、低騒音化等が可能であり、したがって、レーザー・プリンター、デジタル複写機、ファクシミリ等に用いられるレーザー光偏向素子及び光ディスク用のピックアップ、光通信や光コンピュータ用の光スイッチ等の広範囲のオプト・エレクトロニクス分野において利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】 電気光学効果によるブラッグ回折の原理を示す説明図である。

【図2】 電気光学効果による全反射の原理を示す説明

【図3】



図である。

【図3】 プリズム型偏向素子の原理を示す説明図である。

【図4】 従来の光導波路型プリズム偏向素子の平面図である。

【図5】 従来の光導波路型プリズム偏向素子の断面図である。

【図6】 実施例1による光偏向素子の平面図である。

【図7】 実施例1による光偏向素子の断面図である。

【図8】 実施例1における光偏向素子について、印加電圧と偏向角度との関係を示すグラフである。

【図9】 実施例2による光偏向素子の平面図である。

【図10】 実施例2による光偏向素子の断面図である。

【図11】 実施例3による光偏向素子の平面図である。

【図12】 実施例3による光偏向素子の断面図である。

【図13】 実施例2における光偏向素子について、印加電圧と偏向角度との関係を示すグラフである。

【図14】 実施例3における光偏向素子について、印加電圧と偏向角度との関係を示すグラフである。

【図15】 実施例4による光偏向素子の平面図である。

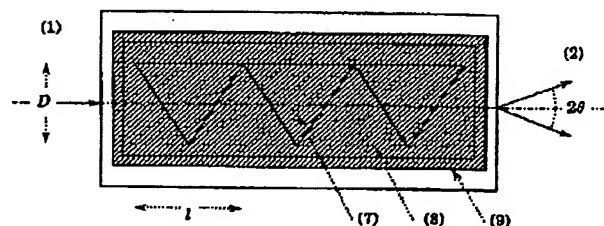
【図16】 実施例4による光偏向素子の断面図である。

【図17】 実施例4による光偏向素子の印加電圧と偏向角度との関係を示すグラフである。

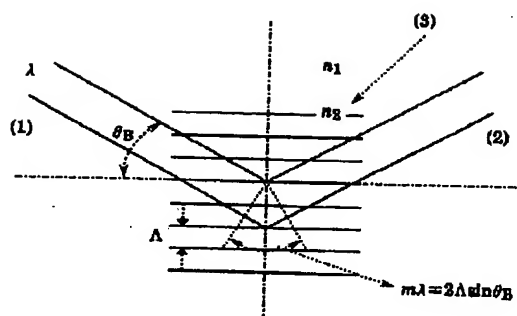
【符号の説明】

- (1) …入射レーザー・ビーム、(2) …出射レーザー・ビーム、(3) …電場による屈折率変化によって生じたグレーティング領域、(4) …電場による屈折率変化領域、(5) …屈折率 n_a のプリズム、(6) …屈折率 n_b のプリズム、(7) …分極ドメイン反転領域、(8) …上部電極、(9) …クラッド層、(10) …光導波路、(11) …単結晶基板、(12) …下部電極、(13) …単結晶基板、(14) …三角形電極アレー、(15) …入射用グレーティング、(16) …入射用プリズム、(17) …出射用プリズム、(18) …出射用グレーティング、(19) …導電性酸化物薄膜。

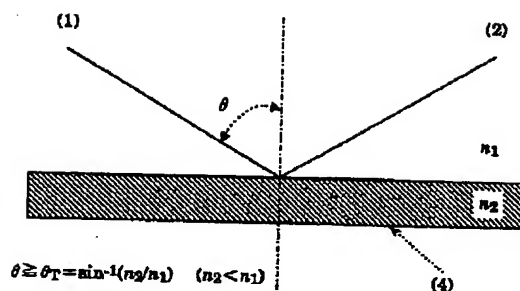
【図4】



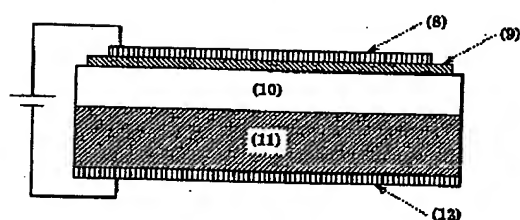
【図1】



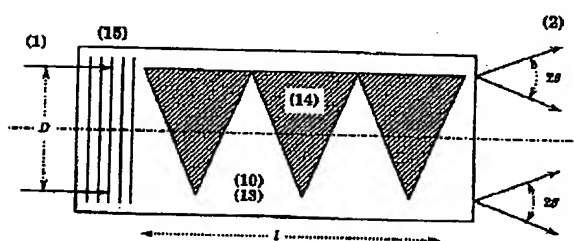
【図2】



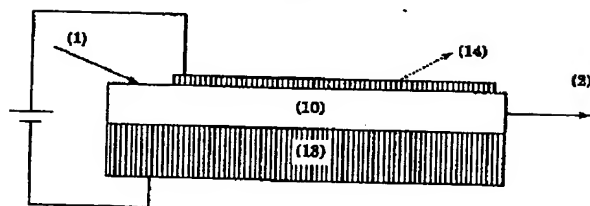
【図5】



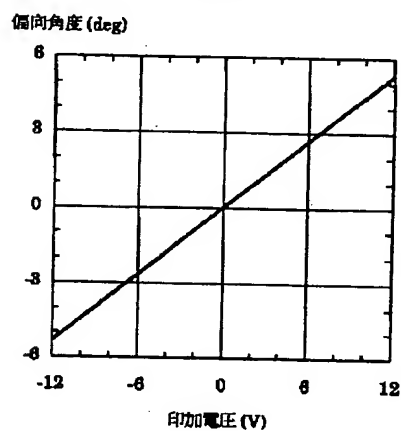
【図6】



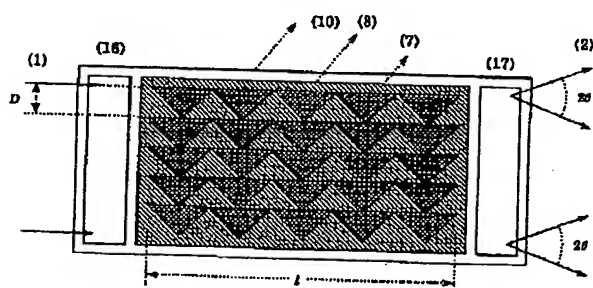
【図7】



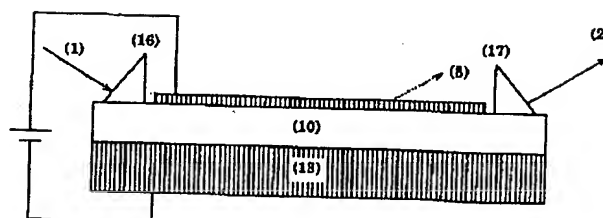
【図8】



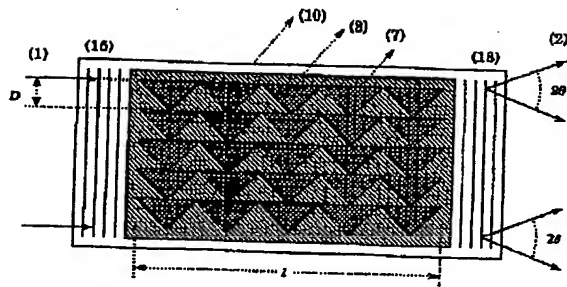
【図9】



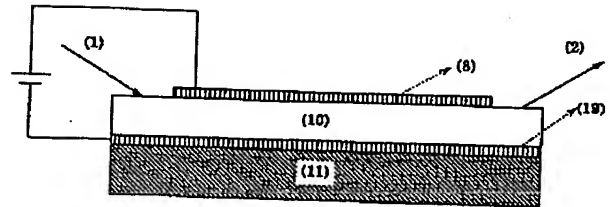
【図10】



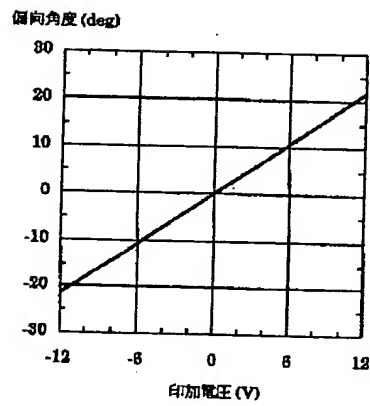
【図11】



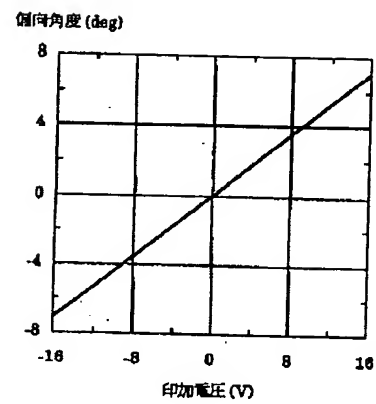
【図12】



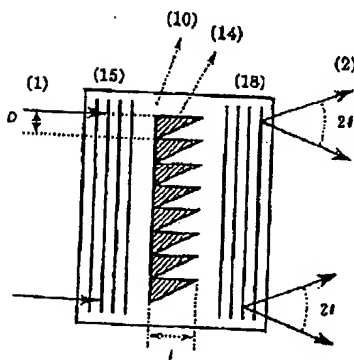
【図13】



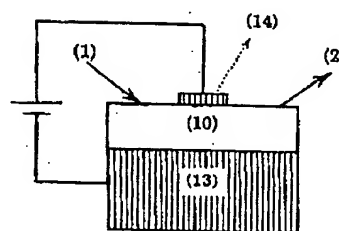
【図14】



【図15】



【図16】



【図17】

